

## Identifikasi Prinsip *Green Chemistry* pada Buku Teks Kimia SMA Materi Hidrokarbon dan Minyak Bumi

Nurul Afifah<sup>1</sup>, Burhanudin Milama<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pendidikan Kimia, Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten

<sup>2</sup>Pendidikan Kimia, Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten

**\*afifahnurul61.na@gmail.com**

### Abstrak

Pembelajaran kimia memiliki peran yang sangat penting sebagai salah satu elemen dalam mendukung pelaksanaan pembelajaran berkelanjutan. Pembelajaran yang disokong oleh buku teks berkualitas akan memengaruhi tingkat keberhasilan pembelajaran. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa buku teks yang dipakai lebih banyak menghadirkan materi pengetahuan sains dan hanya sedikit menyajikan materi sains dengan pendekatan berpikir. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kemunculan prinsip *green chemistry* pada buku teks kimia materi hidrokarbon dan minyak bumi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kualitatif deskriptif. Buku yang dianalisis merupakan buku teks kimia kelas XI kurikulum 2013 yang digunakan di Sekolah Menengah Atas (SMA) Kota Bekasi. Instrumen yang digunakan adalah lembar observasi yang berisi tabel analisis prinsip *green chemistry*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa buku teks pertama muncul sebanyak dua belas prinsip, buku teks kedua muncul sebanyak sebelas prinsip, buku teks ketiga muncul sebanyak sepuluh prinsip, buku teks keempat muncul sebanyak sebelas prinsip, buku teks kelima muncul sebanyak sepuluh prinsip dan buku teks keenam muncul sebanyak sepuluh prinsip. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa secara umum prinsip *green chemistry* pada buku teks kimia SMA sudah dimunculkan pada ke-enam buku teks secara bervariasi.

Kata kunci: buku teks kimia, *green chemistry*, hidrokarbon dan minyak bumi

### 1. Pendahuluan

Pembelajaran kimia adalah representasi visual dari ilmu pengetahuan sains. Di abad ke-21 ini pembelajaran kimia memiliki tantangan serius karena perlunya pengintegrasian ilmu kimia dengan sistem pendidikan yang diteruskan ke generasi mendatang [1]. Pembelajaran kimia memiliki peran yang sangat penting sebagai salah satu elemen dalam mendukung pelaksanaan pembelajaran berkelanjutan [2]. Dalam konteks ini, siswa didorong agar lebih kreatif dan inovatif dalam menerapkan konsep-konsep kimia untuk mengatasi permasalahan lingkungan. Ini disebabkan banyak konsep kimia memiliki relevansi yang signifikan dengan isu-isu lingkungan. Dari pembelajaran berkelanjutan ini, siswa dapat mengaplikasikan berbagai topik seperti larutan elektrolit dan non-elektrolit, reaksi oksidasi-reduksi, hidrokarbon, minyak bumi, koloid,

elektrokimia, dan polimer. Untuk mencapai hasil yang optimal, pendidik juga perlu bersikap kreatif serta mampu menyesuaikan materi, memahami karakteristik siswa, dan merumuskan tujuan pembelajaran agar manfaat dari pendidikan berkelanjutan dapat diterapkan secara efektif kepada siswa [3].

Di bidang pendidikan, buku memegang peran yang krusial dalam kelangsungan proses pembelajaran mengajar, karena kehadiran buku memfasilitasi kelancaran jalannya pendidikan. Buku teks atau buku pelajaran merupakan media instruksional yang memiliki peran sangat dominan dalam proses belajar [4]. Dalam hal penerapan kurikulum 2013, buku teks menjadi alat bantu yang penting untuk memudahkan proses belajar. Buku ini digunakan baik oleh siswa maupun guru, sehingga tujuan mengembangkan kompetensi siswa dapat tercapai sesuai dengan harapan. Menurut Aryani et al (2023) kualitas pengajaran dapat dipengaruhi oleh mutu buku teks yang digunakan. Pembelajaran yang disokong oleh buku teks berkualitas akan memengaruhi tingkat keberhasilan pembelajaran. Pentingnya buku teks yang baik terletak pada relevansinya dan kontribusinya dalam mendukung pelaksanaan kurikulum, mengingat adanya keterkaitan yang erat antara buku teks dan kurikulum.

Menurut Chiapetta dalam Arinda et al (2022) dalam pembelajaran kimia, buku teks sangat dibutuhkan karena sebagai media untuk menyampaikan banyak informasi dan pengetahuan ilmiah kepada siswa. Selain itu karena sifat abstrak ilmu kimia, keberadaan buku teks pelajaran diharapkan dapat menginspirasi siswa untuk memahami konsep, hukum, teori, dan fakta. Bagi guru, buku teks memainkan peran sebagai pedoman dalam merancang pembelajaran, mengembangkan materi pengajaran, hingga menyusun instrumen evaluasi.

*Green chemistry* atau kimia hijau adalah suatu pendekatan menyeluruh yang merancang bahan kimia yang aman, baik dari segi produk maupun proses. Kimia hijau, atau dikenal juga sebagai kimia berkelanjutan, digunakan untuk merancang produk dan prosedur kimia dengan tujuan mengurangi pembentukan zat kimia yang berbahaya [6]. Menurut Idrus et al (2020) *green chemistry education* memberikan peluang untuk menyatukan konsep dan menerapkan 12 prinsip kimia hijau dalam kurikulum dan pembelajaran bertujuan untuk meningkatkan kesadaran lingkungan para peserta didik. Peran sentral pendidikan kimia dalam konteks ini adalah untuk mendukung pembangunan berkelanjutan [8].

Penerapan *green chemistry* dapat meningkatkan kesadaran siswa terhadap bahan kimia yang tidak berbahaya dan bersahabat dengan lingkungan. Ketika belajar kimia, siswa dapat memahami pilihan bahan kimia yang lebih ramah lingkungan dan strategi untuk mengurangi limbah dalam proses produksi kimia. Menurut Ratnawati & Praptomo (2023), untuk mengintegrasikan *green chemistry* dalam pembelajaran kimia, perlu dilakukan inovasi dalam kurikulum dan pendekatan pengajaran. Dengan demikian, *green chemistry* memegang peran yang sangat signifikan dalam proses pembelajaran kimia karena dapat membantu mempromosikan pendidikan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan serta mempersiapkan siswa untuk karir di bidang kimia yang berkelanjutan [10].

Hidrokarbon dan minyak bumi termasuk dalam materi kimia yang memiliki keterkaitan erat dengan kehidupan sehari-hari, sehingga sangat berguna untuk berbagai kegiatan dalam aktivitas keseharian [11]. Penggunaan sumber daya alam minyak bumi dan produk turunannya berpotensi menimbulkan dampak negatif pada lingkungan, seperti menjadi polutan dan mempercepat pemanasan global. Oleh karena itu, pembelajaran konsep ini perlu diselaraskan dengan pemahaman tentang lingkungan hidup lewat prinsip *green chemistry*. Modul pembelajaran yang mengintegrasikan wawasan lingkungan dapat dijadikan sebagai opsi media pembelajaran alternatif dan efektif dalam memberikan pemahaman kepada peserta didik mengenai penerapan ilmu kimia dalam kehidupan sehari-hari yang ramah lingkungan [12].

## 2. Metode

Metode penelitian yang digunakan adalah deksriptif kualitatif. Metode kualitatif adalah metode analisis yang memiliki tujuan untuk mendapatkan informasi mendalam [13]. Desain penelitian yang digunakan pada penelitian ini jenis pendekatan deksriptif dengan metode kualitatif analisis isi/konten.

Populasi dalam penelitian ini adalah semua buku teks mata pelajaran kimia kelas XI kurikulum 2013 yang digunakan di SMA Kota Bekasi. Berikut adalah rincian buku teks kimia kelas XI yang dijadikan sampel penelitian diantaranya ; Konsep dan Penerapan Kimia SMA/MA Kelas XI Kelompok Peminatan MIPA (Penulis Ernavita dan Tine Maria Kuswati), Aktif dan Kreatif Belajar Kimia untuk SMA/MA Kelas XI (Penulis Nana Sutresna, dkk), Kimia untuk SMA/MA Kelas XI (Penulis Unggul Sudarmo dan Nanik Mitayani), Kimia Kelompok Peminatan untuk SMA/MA Kelas XI (Penulis Michael

Purba dan Eti Sarwiyati), Kimia Peminatan Matematika dan Ilmu-ilmu Alam (Penulis Nurhalimah Umiyati), dan Kimia untuk Siswa SMA/MA Kelas XI (Penulis A.Haris Watoni, Dini Kurniawati dan Meta Juniastri)

Dalam penelitian ini dilakukan pengumpulan data menggunakan analisis teks dan studi pustaka. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah lembar observasi prinsip *green chemistry* yang diadopsi dari Paul Anastas dan John Warner (1991). Lembar observasi prinsip *green chemistry* berupa tabel yang akan diisi dengan pernyataan berupa kalimat-kalimat hasil analisis.

Pada penelitian yang bersifat observatif perlu dilakukan reliabilitas pengamat agar dapat menghindari unsur subjektif dari pengamat. Pengecekan data dilakukan oleh ahli yaitu dua dosen kimia (pengamat I dan II). Hasil perhitungan reliabilitas menunjukkan skor KK Koefisien Kesepakatan) dengan indeks sangat bagus. Pendekatan analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis data kualitatif model interaktif dari Miles dan Huberman.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui penerapan prinsip *green chemistry* pada buku teks kimia kelas XI pada materi hidrokarbon dan minyak bumi. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil data deskriptif setiap prinsip *green chemistry* yang dianalisis

Tabel 1 Kemunculan Prinsip pada Buku Teks

	Buku 1	Buku 2	Buku 3	Buku 4	Buku 5	Buku 6
Prinsip 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Prinsip 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Prinsip 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Prinsip 4	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Prinsip 5	✓	-	-	-	-	-
Prinsip 6	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Prinsip 7	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Prinsip 8	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Prinsip 9	✓	✓	-	✓	-	-
Prinsip 10	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Prinsip 11	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Prinsip 12	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Prinsip-prinsip *green chemistry* dikembangkan oleh Paul Anastas dan John Warner pada tahun 1991 terkait dengan bahan kimia, proses, dan produk yang lebih hijau (lebih ramah lingkungan).

Berikut hasil temuan *green chemistry* dalam materi hidrokarbon dan minyak bumi pada buku teks pelajaran kimia.

### **1. Prinsip 1 : Pencegahan Terbentuknya Limbah**

Konsep serta pendekatan *green chemistry* hadir sebagai strategi dalam mencegah dampak pencemaran dari zat kimia yang berpotensi merusak lingkungan. Untuk itu perlu dipertimbangkan cara menerapkan prinsip-prinsip dan konsep kimia hijau ini dalam pengajaran kimia di lingkungan sekolah [14]. Prinsip *green chemistry* pencegahan terbentuknya limbah merupakan upaya untuk mencegah terbentuknya limbah daripada membersihkan limbah yang mana hal ini bisa direncanakan sebelum melakukan suatu tindakan. Dengan mengetahui perbandingan setiap unsur-unsur dalam membentuk senyawa kimia, nantinya dapat diperkirakan penggunaan bahan kimia yang digunakan dengan seminimal mungkin. Sehingga, dapat mencegah terjadinya bahaya toksik pada lingkungan hidup.

Hasil analisis dari keenam buku teks diperoleh bahwa ditemukan beberapa macam informasi terkait pencegahan limbah diantaranya seperti penghijauan, pembuatan *catalytic converter*, membuat kompos dari sekam padi, pemanfaatan ulang minyak jelantah, kebijakan pemakaian plastik berbayar dan penanaman pohon. Upaya-upaya tersebut diharapkan agar siswa dapat menerapkannya di kehidupan sehari-hari.

### **2. Prinsip 2 : Ekonomi Atom**

Ekonomi atom merupakan alat untuk mengukur kemampuan lingkungan menerima proses kimia. Konsep ini merujuk pada sejauh mana suatu reaksi kimia atau sintesis dapat diselesaikan, di mana hasil adalah persentase reaksi yang selesai, dan keekonomian atom adalah fraksi reaktan yang menghasilkan produk akhir [15]. Dalam proses kimia yang ideal, bahan baku digunakan tanpa menghasilkan produk sampingan sehingga seluruh atom ditransfer ke dalam produk melalui proses katalitik. Konsep efisiensi atom, pemanfaatan atom, atau ekonomi atom menjadi alat yang sangat berguna untuk secara cepat mengevaluasi jumlah limbah yang dihasilkan dalam proses alternatif [16]. Hasil analisis menunjukkan terdapat prinsip ini dengan ditunjukkan adanya informasi terkait penggunaan katalis yang efisien, *recycling* limbah, optimasi proses pemisahan, pemanfaatan bahan baku terbarukan dan desain produk yang lebih efisien. Dalam proses pengolahan minyak bumi, seperti reforming katalitik untuk menghasilkan bahan bakar bermutu tinggi seperti bensin, penggunaan katalis yang efisien dapat meningkatkan efisiensi reaksi dan mengurangi limbah yang dihasilkan.

### **3. Prinsip 3 : Merancang Sintesis Bahan Kimia yang Kurang Berbahaya**

Prinsip ketiga dalam kimia hijau yakni merancang sintesis kimiawi yang kurang berbahaya. Maksud dari prinsip ini ialah penggunaan bahan kimia yang tidak atau kurang berbahaya sejak awal produksi atau sebelum pemakaian. Dalam proses perancangan metode sintetis, penting untuk memastikan penggunaan dan hasil akhir menghasilkan senyawa yang memiliki tingkat toksitas yang minim atau bahkan nol terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Untuk meminimalkan risiko dalam proses sintesis kimia, digunakan dan dihasilkan zat-zat harus memiliki tingkat toksitas yang serendah mungkin [15].

Hasil analisis dari keenam buku teks diperoleh informasi terkait bentuk pemilihan bahan kimia yang dipakai saat praktikum mengidentifikasi unsur dalam senyawa hidrokarbon. Praktikum dengan bahan kimia yang aman sangat memungkinkan diterapkan dalam pembelajaran. Seperti menggunakan bahan-bahan yang biasa ditemukan di kehidupan sehari-hari contohnya gula, garam, susu bubuk, tepung beras dan kapas. Adapun bahan kimia lainnya yakni air kapur, naftalena, bubuk tembaga (II) oksida dan kertas kobalt biru. Pemakaian bahan naftalena, tembaga (II) oksida dan kertas kobalt biru dinilai masih aman apabila menggunakan takaran yang sesuai dan sesuai prosedur penggunaan.

### **4. Prinsip 4 : Desain Produk Bahan Kimia Aman**

Prinsip ke-4 yakni desain produk bahan kimia aman lebih mengarah pada penggunaan bahan kimia yang lebih aman. Di dalam beberapa proses kimia dilakukan upaya-upaya penggantian bahan kimia. Misalnya dalam produksi bahan bakar bensin telah dilakukan penggantian tetra etil timbal (TEL) dengan bahan yang lebih aman untuk mereduksi polusi Pb di udara. Tujuan utamanya adalah pengurangan resiko dari dua aspek, produk atau proses dan paparan terhadap manusia [17]. Untuk mendesain sintesa yang akan digunakan dan dapat menghasilkan zat kimia yang aman, perlu adanya pengetahuan terkait bahan-bahan kimia [18]. Tantangan dalam prinsip ini ialah siswa harus memahami faktor-faktor yang menyebabkan sebuah molekul menjadi beracun.

Hasil analisis ditemukan informasi terkait desain produk bahan kimia aman berupa penggunaan etanol sebagai pengganti TEL dan MTBE yang dinilai lebih aman dan tidak mencemari lingkungan. Prinsip desain produk bahan kimia aman ialah produk kimia harus dirancang untuk mempengaruhi fungsi yang diinginkan sambil meminimalkan toksitasnya. Sasaran utamanya adalah mencapai nilai optimal sehingga produk bahan kimia memiliki kinerja dan fungsi yang optimal sambil tetap aman atau memiliki tingkat toksitas yang rendah.

## 5. Prinsip 5 : Pelarut dan Zat Tambahan Aman

Salah satu aspek penting dari kimia hijau adalah pengembangan pelarut ramah lingkungan untuk digunakan dalam berbagai proses kimia. Pelarut merupakan suatu zat yang dapat melarutkan zat lain atau zat terlarut tanpa bereaksi secara kimia dengannya. Di bumi, pelarut yang paling umum digunakan adalah air. Sementara itu, sebagian besar pelarut yang biasa digunakan dalam industri kimia berbahaya bagi manusia dan lingkungan [19].

Hasil analisis dari keenam buku teks diperoleh bahwa hanya buku 1 yang terdapat prinsip pelarut dan zat tambahan aman, sedangkan pada buku 2, 3, 4, 5 dan 6 tidak ditemukan prinsip tersebut. Ditemukan informasi terkait penggunaan pelarut berupa alkohol yang dicampurkan dengan bensin sehingga membentuk gasohol dan memiliki manfaat dapat menurunkan emisi karbon monoksida. Prinsip pelarut dan zat tambahan aman maksudnya memilih pelarut berbasis air atau yang tidak membahayakan lingkungan daripada pelarut organik yang berpotensi berbahaya. Pemilihan pelarut yang sesuai untuk suatu proses dapat signifikan meningkatkan keberlanjutan dalam produksi bahan kimia.

## 6. Prinsip 6 : Efisiensi Energi

Setiap proses kimia membutuhkan energi dan penggunaan energi yang tinggi akan berdampak pada lingkungan. Dalam kenyataannya, suatu proses produksi kadang membutuhkan beberapa tahap yang masing-masing menyumbangkan faktor resiko serta limbah. Dalam konsep *green chemistry*, penyederhanaan proses adalah salah satu upaya preventif yang mana tidak hanya minimalisasi energi, atom ekonomi dan pencegahan limbah namun juga membuat suatu proses sinambung [17].

Prinsip efisiensi energi merujuk pada usaha untuk mengurangi jumlah energi yang diperlukan dalam penggunaan peralatan atau sistem yang terkait dengan energi. Minyak bumi sebagai sumber energi utama saat ini, diperkirakan akan habis dalam waktu yang tidak lama. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk mengurangi penggunaan energi dari sumber daya alam yang terbatas ini. Salah satu caranya adalah dengan mengadopsi kebiasaan hemat energi dalam kehidupan sehari-hari atau di rumah tangga [20]. Meskipun terlihat sepele, kontribusi konsumsi listrik yang tidak disadari ini dapat berdampak pada peningkatan penggunaan daya listrik secara keseluruhan [21].

## 7. Prinsip 7 : Penggunaan Bahan Baku Terbarukan

Penggunaan bahan baku yang dapat diperbarui lebih disarankan daripada menggunakan bahan baku yang tak terbarukan didasarkan pada alasan ekonomi. Selain itu, bahan mentah yang diekstraksi dari bumi semakin menipis karena persediaannya terbatas dan tidak dapat diisi ulang setelah digunakan. Untuk bahan baku yang semakin menipis ini, daur ulang harus dilakukan semaksimal mungkin [15].

Hasil analisis dari keenam buku teks diperoleh informasi bahwa penggunaan bahan baku terbarukan memiliki maksud mendorong pemanfaatan sumber daya alam terbarukan, seperti yang diperoleh dari tumbuhan atau limbah pertanian. Hal ini bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam fosil yang jumlahnya terbatas dan berpotensi menimbulkan dampak lingkungan yang signifikan. Pemakaian bahan bakar alternatif lainnya seperti bioethanol dan biodiesel dapat dijadikan sebagai solusi untuk mengurangi penggunaan bahan bakar konvensional dan lebih ramah lingkungan [22]. Energi terbarukan lainnya yakni pada pemanfaatan bioreduktor dalam ekstrak tanaman, limbah makanan dan hasil pertanian untuk sintesis nanopartikel dapat memaksimalkan pemanfaatan sumber daya alam terbarukan [23].

### **8. Prinsip 8 : Mengurangi Penggunaan *Derivate* Kimia**

Salah satu konsep dalam kimia hijau yakni mengurangi derivatif adalah kata kunci yang penting utamanya dalam industri kimia dan obat. Prinsipnya adalah dalam suatu sintesis diusahakan mengurangi derivatif termasuk *blocking* atau *protecting agent* untuk mensintesis suatu senyawa tertentu [17]. Maksud dari prinsip mengurangi penggunaan derivat kimia ialah mengurangi penggunaan tindakan yang tidak perlu (seperti penggunaan perlindungan, pemblokiran, atau modifikasi sementara proses fisik atau kimia) atau menghindarinya bila memungkinkan. Hal ini dilakukan karena langkah-langkah tersebut membutuhkan penambahan reagen tambahan dan berpotensi menghasilkan limbah. Penerapan konsep ini lebih besar ditemukan dan diterapkan dalam skala besar misalnya bidang industri.

### **9. Prinsip 9 : Menggunakan Katalis**

Katalis berperan sebagai substansi yang mempercepat laju reaksi kimia, meningkatkan selektivitas, dan mengurangi konsumsi energi. Penerapan katalis dalam industri telah mengalami kemajuan signifikan, terutama dalam proses pembuatan bahan bakar alternatif menggunakan bahan dasar seperti pati, selulosa, air, dan katalis. Katalis telah digunakan dalam industri kimia selama ratusan tahun dalam proses produksinya [17]. Tidak hanya di dalam dunia industri, katalis juga telah menjadi bagian dari kehidupan sehari-hari. Sebagai contoh penggunaan *catalytic converter* pada sistem pembuangan gas mobil, pendingin ruangan dan

sebagainya. Hasil analisis dari keenam buku teks diperoleh bahwa buku 1, 2 dan 4 terdapat prinsip menggunakan katalis, sedangkan pada buku 3, 5, dan 6 tidak ditemukan prinsip tersebut. Penggunaan katalis memberikan manfaat yang sangat besar, tidak hanya dari sudut pandang efisiensi teknis.

## **10. Prinsip 10 : Merancang Produk untuk Degradasi**

Prinsip ini berkaitan dengan prinsip pengurangan limbah dan minimalisasi derivatif di mana dalam produksi suatu bahan industri diupayakan suatu konsep bahwa produk dapat didegradasi secara mudah bahkan jika mungkin secara alamiah [17]. Produk-produk kimia harus dirancang sedemikian rupa sehingga pada akhir fungsi mereka akan terurai menjadi produk degradasi yang tidak berbahaya dan tidak persisten di lingkungan. Bahan kimia dapat terdegradasi melalui beberapa cara, bergantung pada komposisi dan struktur molekulnya [24].

Hasil analisis dari keenam buku teks ditemukan informasi mengenai upaya-upaya bijak yang harus dilakukan siswa agar mereka tahu produk kimia seperti apa yang aman. Merancang produk untuk degradasi bisa dilakukan dengan beberapa upaya contohnya mulai menggunakan plastik *biodegradable*. Plastik *biodegradable* diproduksi dari sumber-sumber alam yang dapat diperbarui, seperti jagung, singkong, sagu, dan bahan alam lainnya [25]. Jenis plastik ini dinilai lebih ramah lingkungan karena mudah untuk terdegradasi.

## **11. Prinsip 11 : Analisis Langsung untuk Mengurangi Pencekaman**

Analisis *real-time* bertujuan memberikan informasi cepat guna tindakan cepat terhadap informasi analisis yang diberikan. Prinsip analisis *real-time* dalam industri minyak dan gas mengacu pada penggunaan teknologi yang memungkinkan pengawasan proses secara langsung dan berkelanjutan. Ini penting karena memungkinkan operator untuk memantau dan mengontrol operasi dengan lebih efektif. Sebagai contoh, dalam pengolahan minyak bumi, teknologi analisis *real-time* digunakan untuk memonitor parameter seperti suhu, tekanan, dan komposisi kimia selama proses distilasi atau hidrodesulfurisasi. Hal ini membantu operator untuk mengambil tindakan yang cepat dalam menyesuaikan kondisi operasi dan mencegah kegagalan proses [14].

Hasil analisis dari keenam buku teks menunjukkan terdapat prinsip ini di ke-enam tersebut. Prinsip analisis *real-time* adalah pengembangan metode analitik yang diperlukan untuk memungkinkan analisis secara waktu nyata guna mencegah polusi, memantau, dan mengendalikan proses sebelum terbentuknya substansi yang berbahaya. Pengukuran parameter

dan konsentrasi proses secara real-time terkadang memberikan informasi berharga dan petunjuk bagaimana proses harus disesuaikan untuk menghindari efek atau risiko yang merugikan.

### **12. Prinsip 12 : Minimalkan Potensi Kecelakaan**

Mengurangi risiko kecelakaan dengan merancang proses yang tidak mungkin menggunakan bahan yang dapat menyebabkan ledakan, kebakaran, atau pelepasan yang berbahaya. Kejadian-kejadian seperti tumpahan, ledakan, dan kebakaran merupakan risiko besar dalam bidang kimia. Selain berpotensi membahayakan, insiden-insiden ini juga dapat menyebarkan zat beracun ke lingkungan, meningkatkan risiko paparan manusia dan organisme lain terhadap zat-zat tersebut [15]. Keselamatan didefinisikan sebagai manajemen risiko yang diidentifikasi dengan mencapai tingkat risiko yang dapat diterima, dan ini diwujudkan melalui penggunaan alat pelindung diri pada tingkat paling minimal [26]. Dalam pembelajaran kimia, diperlukannya penerapan terkait prinsip ini terutama dalam praktikum di laboratorium. Tujuannya untuk menekankan pentingnya keamanan dalam penggunaan bahan kimia, dengan penekanan pada mencegah kecelakaan dan situasi darurat yang dapat merugikan manusia dan lingkungan.

## **4. Simpulan**

Penelitian ini memiliki tujuan untuk melihat keterkaitan prinsip *green chemistry* pada buku teks kimia kelas XI dengan materi hidrokarbon dan minyak bumi. Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa prinsip *green chemistry* sudah dimunculkan pada ke-enam buku teks secara bervariasi. Pada buku teks pertama muncul sebanyak dua belas prinsip, buku teks kedua muncul sebanyak sebelas prinsip, buku teks ketiga muncul sebanyak sepuluh prinsip, buku teks keempat muncul sebanyak sebelas prinsip, buku teks kelima muncul sebanyak sepuluh prinsip dan buku teks keenam muncul sebanyak sepuluh prinsip.

## **Daftar Pustaka**

- [1] R. Arinda, S. Yamtinah, and S. B. Utomo, “Analisis Buku Teks Pelajaran Kimia Kelas X Kurikulum 2013 Berdasarkan Muatan Literasi Kimia pada Materi Larutan Elektrolit dan Nonelektrolit,” *J. Pendidik. Kim.*, vol. 11, no. 1, Art. no. 1, Jun. 2022, doi: 10.20961/jpkim.v11i1.49076.
- [2] F. Febrizal, H. Hernani, and A. Mudzakir, “Systematic Literature Review: Peran Pembelajaran Kimia Terhadap Keberlanjutan Dalam Konteks Education For Sustainable Development (ESD),” *Quantum J. Inov. Pendidik. Sains*, vol. 14, no. 2, Art. no. 2, Oct. 2023, doi: 10.20527/quantum.v14i2.15963.

- [3] M. Perkasa, A. Agrippina, and W. Wiraningtyas, “Pembelajaran Kimia Berorientasi Sustainable Development untuk Meningkatkan Kesadaran Siswa Terhadap Lingkungan,” *Sainsmat J. Ilm. Ilmu Pengetah. Alam*, vol. 6, no. 2, pp. 169–178, 2017, doi: 10.35580/sainsmat6264672017.
- [4] I. Ulumudin, Mahdiansyah, and B. S. Joko, *Kajian Buku Teks dan Pengayaan: Kelengkapan dan Kelayakan Buku Teks Kurikulum 2013 Serta Kebijakan Penumbuhan Minat Baca Siswa*. Jakarta: Kemendikbud, 2017. [Online]. Available: [https://pskp.kemdikbud.go.id/assets\\_front/images/produk/1-gtk/buku/Buku\\_Teks\\_dan\\_Pengayaan-.pdf](https://pskp.kemdikbud.go.id/assets_front/images/produk/1-gtk/buku/Buku_Teks_dan_Pengayaan-.pdf)
- [5] F. Aryani, F. Solikhin, and D. Handayani, “Analisis Muatan Nature Of Science (NoS) Pada Materi Termokimia dalam Buku Teks Kimia SMA Kelas XI di Kota Bengkulu,” *Chem. Educ. Pract.*, vol. 6, no. 2, Art. no. 2, Nov. 2023, doi: 10.29303/cep.v6i2.5639.
- [6] J. Martínez, J. F. Cortés, and R. Miranda, “Green Chemistry Metrics, A Review,” *Processes*, vol. 10, no. 7, Art. no. 7, Jul. 2022, doi: 10.3390/pr10071274.
- [7] S. W. A. Idrus, A. A. Purwoko, S. Hadisaputra, and E. Junaedi, “Analisis Kemampuan Awal Konsep Green Chemistry Sebagai Upaya Meningkatkan Kreatifitas Mahasiswa Dalam Praktikum Kimia Lingkungan,” *J. Pijar Mipa*, vol. 15, no. 3, Art. no. 3, Jul. 2020, doi: 10.29303/jpm.v15i3.1977.
- [8] S. Inayah, I. W. Dasna, and H. Habiddin, “Implementasi Green Chemistry Dalam Pembelajaran Kimia: Literatur Review,” *Hydrog. J. Kependidikan Kim.*, vol. 10, no. 1, pp. 42–49, Jun. 2022, doi: 10.33394/hjkk.v10i1.4611.
- [9] E. Ratnawati and S. Praptomo, “Penerapan Pembelajaran Materi Kimia Hijau Melalui Project Based Learning (PjBL),” *UNESA J. Chem. Educ.*, vol. 12, no. 2, 2023, doi: <https://doi.org/10.26740/ujced.v12n2.p141-147>.
- [10] N. Apsari and E. Eveline, “Literasi Kimia Menggunakan Buku Digital Kimia Dasar Berbasis Sustainable Chemistry,” *J. Pendidik. MIPA*, vol. 12, no. 4, Art. no. 4, Dec. 2022, doi: 10.37630/jpm.v12i4.753.
- [11] N. Kristin, A. P. Astuti, and V. A. Wulandari, “Analisis Kesulitan Belajar Kimia Materi Hidrokarbon (Study Kasus SMA Negeri di Semarang),” *EDUSAINTEK*, vol. 3, no. 0, Art. no. 0, 2019, Accessed: May 17, 2024. [Online]. Available: <https://prosiding.unimus.ac.id/index.php/edusaintek/article/view/251>
- [12] I. Kamilah and R. A. Fikroh, “Pengembangan Modul Pembelajaran Kimia SMA/MA Materi Hidrokarbon Dan Minyak Bumi Berwawasan Lingkungan Hidup,” *J. Trop. Chem. Res. Educ.*, vol. 4, no. 1, Art. no. 1, Apr. 2022, doi: 10.14421/jtcre.2022.41-05.
- [13] S. Suryabrata, *Metodologi Penelitian*. Jakarta: Raja Grafindo Persada, 2015.
- [14] A. C. Putri, “Pengaplikasian Prinsip-Prinsip Green Chemistry dalam Pelaksanaan Pembelajaran Kimia sebagai Pendekatan untuk Pencegahan Pencemaran Akibat Bahan-Bahan Kimia dalam Kegiatan Praktikum di Laboratorium,” *J. Creat. Stud.*, vol. 2, no. 2, Art. no. 2, Jul. 2017, doi: 10.15294/jcs.v2i2.14585.
- [15] S. E. Manahan, *Environmental Chemistry Ninth Edition*. Boca Raton: CRC Press, 2010.
- [16] T. Qulub, N. Misrochah, and R. Rahmatulloh, “Development of Green Chemistry Integrated Environmental Chemistry Practical Instructions,” *Soc. Humanit. Educ. Stud. SHES Conf. Ser.*, vol. 6, no. 4, Dec. 2023, doi: 10.20961/shes.v6i4.81253.
- [17] I. Fatimah, *Kimia Hijau*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia, 2017.
- [18] P. Purwanti, H. Hernani, and F. Khoerunnisa, “Profil Literasi Sains Peserta Didik SMK pada Penerapan Pembelajaran Projek Electroplating Berbasis Green Chemistry,” *Orbital J. Pendidik. Kim.*, vol. 7, no. 1, Art. no. 1, Jun. 2023, doi: 10.19109/ojpk.v7i1.16839.
- [19] L. Lucian, “Key Elements of Green Chemistry,” in *Chemistry LibreTexts*, 2018. Accessed: May 17, 2024. [Online]. Available:

- [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Environmental\\_Chemistry/Key\\_Elements\\_of\\_Green\\_Chemistry\\_\(Lucia\)/01%3A\\_Key\\_Elements\\_of\\_Green\\_Chemistry](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Environmental_Chemistry/Key_Elements_of_Green_Chemistry_(Lucia)/01%3A_Key_Elements_of_Green_Chemistry)
- [20] S. F. Nisrina and C. K. Sari, “Upaya Hemat Energi Listrik Rumah Tangga Di RUDENIM Semarang,” *J. Pengabdi. Kpd. Masy. Nusant.*, vol. 4, no. 2, Art. no. 2, Jul. 2023, doi: 10.55338/jpkmn.v4i2.1088.
- [21] R. N. Rohmah and H. Asyari, “Penyuluhan Penggunaan Listrik yang Aman dan Hemat bagi Anak-anak,” *J. Pengabdi. Masy. Indones.*, vol. 2, no. 2, Art. no. 2, Apr. 2022, doi: 10.52436/1.jpmi.618.
- [22] F. H. Yudhistira and A. A. Wibowo, “Green Diesel: Bahan Bakar Cair Terbarukan Pengganti Biodiesel. Distilat,” *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 8, no. 4, Art. no. 4, Dec. 2022, doi: 10.33795/distilat.v8i4.486.
- [23] A. D. Aryani and H. A. Wisnuwardhani, “Studi Literatur Sintesis Nanopartikel Tembaga Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Tumbuhan dengan Aktivitas Antioksidan,” *J. Ris. Farm.*, pp. 41–48, Jul. 2022, doi: 10.29313/jrf.v2i1.843.
- [24] P. Maurya *et al.*, “An introduction to environmental degradation: Causes, consequence and mitigation,” 2020, pp. 1–20. doi: 10.26832/esa-2020-edcrs-01.
- [25] M. R. B. Saputra and E. Supriyo, “Pembuatan Plastik Biodegradable Menggunakan Pati Dengan Penambahan Katalis ZnO dan Stabilizer Gliserol,” *Pentana J. Penelit. Terap. Kim.*, vol. 1, no. 1, pp. 41–51, Jun. 2022.
- [26] W. Abdussalam-Mohammed, A. Qasem Ali, and A. O. Errayes, “Green Chemistry: Principles, Applications, and Disadvantages,” *Chem. Methodol.*, vol. 4, no. 4, pp. 408–423, Jul. 2020, doi: 10.33945/SAMI/CHEMM.2020.4.4.